

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
3. Oktober 2002 (03.10.2002)

PCT

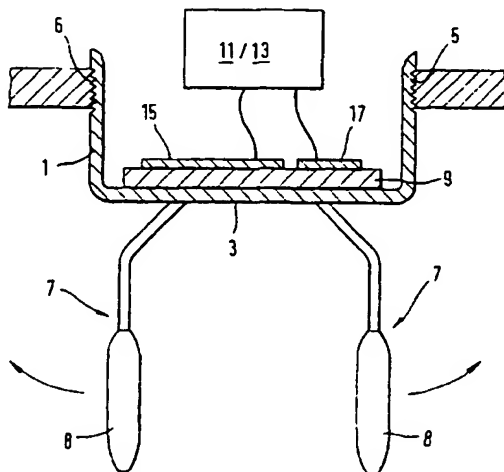
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/077582 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: G01F 23/296 (72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): PFEIFFER, Helmut
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP02/03443 [DE/DE]: Kirchstrasse 26/5, 79585 Steinen (DE).
(22) Internationales Anmeldedatum: 27. März 2002 (27.03.2002) (74) Anwalt: HAHN, Christian; Endress + Hauser Deutschland Holding GmbH, PatServe, Colmarer Strasse 6, 79576 Weil am Rhein (DE).
(25) Einreichungssprache: Deutsch (81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PI, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch (84) Bestimmungsstaaten (regional): eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent
(30) Angaben zur Priorität:
101 15 558.1 28. März 2001 (28.03.2001) DE
101 53 937.1 6. November 2001 (06.11.2001) DE
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): ENDRESS + HAUSER GMBH + CO. [DE/DE]; Hauptstrasse 1, 79689 Maulburg (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DEVICE FOR DETERMINING AND/OR MONITORING A PREDETERMINED FILLING LEVEL IN A CONTAINER

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG ZUR FESTSTELLUNG UND/ODER ÜBERWACHUNG EINES VORBESTIMMTEN FÜLLSTANDES IN EINEM BEHÄLTER



(57) Abstract: The invention relates to a device for determining and/or monitoring a predetermined filling level in a container, which can adapt as optimally as possible to any given application. Said device comprises the following: a mechanical oscillating body arranged at the height of the predetermined filling level, which has a membrane (3) and two oscillating rods (7) spaced from one another and formed thereon; an electromechanical transformer, which makes the oscillating body oscillate during operation in such a way that the oscillating rods (7) carry out oscillations perpendicular to the longitudinal axis; a receiver and evaluation unit (13), which serves to determine and/or monitor on the basis of said oscillations whether or not the predetermined filling level has been reached. The oscillating rods (7) have a shape, whereby the mass moment of inertia of an amount of liquid moved by the oscillating rods when dipped into the liquid is 0.2 times as big or bigger than the moment of inertia of the oscillating rod (7).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 02/077582 A1



(AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

(57) Zusammenfassung: Es ist eine Vorrichtung zur Feststellung und/oder Überwachung eines vorbestimmten Füllstands in einem Behälter vorgesehen, die Füllstands in einem Behälter anzugeben, der eine möglichst optimale Anpassung an eine Anwendung aufweist, welche Vorrichtung umfaßt: ein auf der Höhe des vorbestimmten Füllstandes angebrachtes mechanisches Schwingungsgebilde, das eine Membran (3) und zwei daran von einander beabstandet angeformte Schwingstäbe (7) aufweist, einen elektromechanischen Wandler, der das Schwingungsgebilde im Betrieb derart zu Schwingungen anregt, daß die Schwingstäbe (7) Schwingungen senkrecht zu deren Längsachse ausführen, eine Empfangs- und Auswerteeinheit (13), die dazu dient anhand der Schwingungen festzustellen und/oder zu überwachen, ob der vorbestimmte Füllstand erreicht ist oder nicht, bei dem die Schwingstäbe (7) eine Form ausweisen, bei der ein Massenträgheitsmoment einer Flüssigkeitsmenge, die die Schwingstäbe (7) in die Flüssigkeit eingetauchten Zustand mithbewegen möglichst groß und größer als ein 0,2 faches eines Massenträgheitsmomentes der Schwingstäbe (7) ist.

Vorrichtung zur Feststellung und/oder Überwachung eines vorbestimmten Füllstandes in einem Behälter

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Feststellung und/oder Überwachung eines vorbestimmten Füllstandes in einem Behälter.

Derartige Füllstandsgrenzschalter werden in vielen Industriezweigen, insb. in der Chemie und in der Lebensmittelindustrie eingesetzt. Sie dienen zur Grenzstanddetektion und werden z.B. als Überfüllsicherung oder als Pumpenleerlaufschutz verwendet.

In der DE-A 44 19 617 ist eine Vorrichtung zur Feststellung und/oder Überwachung eines vorbestimmten Füllstandes in einem Behälter beschrieben. Diese umfaßt:

- ein auf der Höhe des vorbestimmten Füllstandes angebrachtes mechanisches Schwingungsgebilde,
 - das eine Membran und zwei daran von einander beabstandet angeformte Schwingstäbe aufweist,
- einen elektromechanischen Wandler,
 - der das Schwingungsgebilde im Betrieb derart zu Schwingungen anregt, daß die Schwingstäbe Schwingungen senkrecht zu deren Längsachse ausführen, und
- eine Empfangs- und Auswerteeinheit, die dazu dient anhand der Schwingung festzustellen und/oder zu überwachen, ob der vorbestimmte Füllstand erreicht ist oder nicht.

Die Schwingstäbe weisen endseitig an deren membran-abgewandten Seite flächige parallel zueinander angeordnete Paddel auf. Eine Flächennormale auf die Paddel verläuft senkrecht zur Längsachse der Paddel.

Der elektromechanische Wandler weist mindestens einen Sender auf, an dem ein elektrisches Sendesignal anliegt und der das mechanische Schwingungsgebilde zu Schwingungen anregt. Es ist ein Empfänger vorgesehen, der die mechanischen Schwingungen des Schwingungsbildes aufnimmt und in ein

elektrisches Empfangssignal umwandelt. Die Auswerteeinheit nimmt das Empfangssignal auf und vergleicht dessen Frequenz mit einer Referenzfrequenz. Sie erzeugt ein Ausgangssignal das angibt, daß das mechanische Schwingungsgebilde von einem Füllgut bedeckt ist, wenn die Frequenz einen Wert aufweist der kleiner als die Referenzfrequenz ist, und daß es nicht bedeckt ist, wenn der Wert größer ist. Es ist ein Regelkreis vorgesehen, der eine zwischen dem elektrischen Sendesignal und dem elektrischen Empfangssignal bestehende Phasendifferenz auf einen bestimmten konstanten Wert regelt, bei dem das Schwingungsgebilde Schwingungen mit einer Resonanzfrequenz ausführt.

Der Regelkreis wird z. B. dadurch gebildet, daß das Empfangssignal verstärkt und über einen Phasenschieber auf das Sendesignal zurück gekoppelt wird.

Derartige Vorrichtungen werden in einer Vielzahl verschiedener Anwendungen eingesetzt und sind somit ganz unterschiedlichen Anforderungen ausgesetzt.

Es ist eine Aufgabe der Erfindung, eine Vorrichtung zur Feststellung und/oder Überwachung eines vorbestimmten Füllstands in einem Behälter anzugeben, der eine möglichst optimale Anpassung an eine Vielzahl von Anwendungen aufweist.

Dies wird erfindungsgemäß gelöst, durch eine Vorrichtung zur Feststellung und/oder Überwachung eines vorbestimmten Füllstandes in einem Behälter, welche Vorrichtung umfaßt:

- ein auf der Höhe des vorbestimmten Füllstandes angebrachtes mechanisches Schwingungsgebilde,
- das eine Membran und zwei daran von einander beabstandet angeformte Schwingstäbe aufweist,
- einen elektromechanischen Wandler,
- der das Schwingungsgebilde im Betrieb derart zu Schwingungen anregt, daß die Schwingstäbe Schwingungen senkrecht zu deren Längsachse ausführen,
- eine Empfangs- und Auswerteeinheit, die dazu dient anhand der Schwingungen festzustellen und/oder zu überwachen, ob der vorbestimmte Füllstand erreicht ist oder nicht,

- bei dem die Schwingstäbe eine Form ausweisen, bei der ein Massenträgheitsmoment einer Flüssigkeitsmenge, die die Schwingstäbe in die Flüssigkeit eingetauchten Zustand mitbewegen möglichst groß und größer als ein 0,2 faches eines Massenträgheitsmomentes der Schwingstäbe ist.

Gemäß einer Ausgestaltung weisen die Schwingstäbe endseitig an deren membran-abgewandten Seite flächige parallel zueinander angeordnete Paddel auf, wobei eine Flächennormale auf die Paddel senkrecht zur Längsachse der Schwingstäbe verläuft.

Gemäß einer Weiterbildung

- ragen die Schwingstäbe im Betrieb durch eine Öffnung in den Behälter hinein,
- weist die Öffnung einen Durchmesser von weniger als fünf Zentimetern auf,
- weist die Membran einen Durchmesser auf, der geringfügig kleiner als der Durchmesser der Öffnung ist,
- weisen die Paddel eine maximale Breite auf, bei der ein Außendurchmesser der Vorrichtung im Bereich der Schwingstäbe kleiner gleich dem Durchmesser der Öffnung ist.

Gemäß einer Weiterbildung ist eine Länge L der Schwingstäbe einschließlich der Paddel so gewählt, daß eine Resonanzfrequenz des Schwingungsgebildes bei maximaler Paddelbreite kleiner als 1400 Hz ist.

Gemäß einer Weiterbildung weisen die Paddel eine Länge l auf, die 50 % +/- 10 % der Länge L der Schwingstäbe ausmacht.

Gemäß einer Weiterbildung weisen die Paddel eine geringe Dicke auf.

Gemäß einer Ausgestaltung besteht die Membran aus einem Metall und weist eine Dicke von 0,6 bis 1 mm auf.

Gemäß einer ersten Ausgestaltung

- weist die Öffnung einen Durchmesser von ca. 24 mm ($\frac{1}{2}$ Zoll) auf,
- ist die Membran in die Öffnung eingebracht und schließt diese ab,
- weist jeder Schwingstab ein Massenträgheitsmoment auf, das kleiner gleich 18 kgmm^2 und größer gleich $1,1 \text{ kgmm}^2$ ist,
- weisen die Paddel eine Dicke zwischen 1 mm und 4,1 mm auf, und
- weisen die Schwingstäbe eine Länge zwischen 37 mm und 60 mm auf.

Gemäß einer zweiten Ausgestaltung

- weist die Öffnung einen Durchmesser von ca. 12 mm ($\frac{1}{4}$ Zoll) auf,
- ist die Membran in die Öffnung eingebracht und schließt diese ab,
- weist jeder Schwingstab ein Massenträgheitsmoment auf, das kleiner gleich $1,6 \text{ kgmm}^2$ und größer gleich $0,4 \text{ kgmm}^2$ ist,
- weisen die Paddel eine Dicke zwischen 1 mm und 2 mm auf, und
- die Schwingstäbe weisen eine Länge zwischen 30 mm und 40 mm auf.

Weiter besteht die Erfindung in einem Verfahren zur Herstellung einer der oben genannten Vorrichtungen, bei dem

- aus einem vorgegebenen Durchmesser der Öffnung im Behälter der maximale Durchmesser der Membran bestimmt wird,
- ein Abstand der Paddel zueinander und deren Dicke in Abhängigkeit vom Durchmesser der Membran festgelegt wird,
- nachfolgend zur Erzielung einer hohen Empfindlichkeit der Vorrichtung die maximal mögliche Breite der Paddel bestimmt wird,
- eine Mindestlänge der Schwingstäbe ermittelt wird,

- ab der eine Resonanzfrequenz des Schwingungsgebildes weniger als 1400 Hz beträgt, und
- das Schwingungsgebilde unter Einhaltung der vorgenannten Bemessungsangaben gefertigt wird.

Das Schwingungsgebilde führt im Betrieb erzwungene harmonische Schwingungen aus. Vorzugsweise wird die Vorrichtung in Resonanz betrieben, da dann eine Amplitude der Schwingungen maximal ist. Ein Eintauchen des Schwingungsgebildes in die Flüssigkeit bewirkt eine zusätzliche Dämpfung der Resonanzschwingung und führt zu einer Reduktion der Schwingungsamplitude und der Resonanzfrequenz. Ursache für die Dämpfung ist, daß eine von der Form der Schwingstäbe abhängige Flüssigkeitsmenge mit den Schwingstäben mitbewegt wird.

Indem die Schwingstäbe so ausgebildet sind, daß das Massenträgheitsmoment der mit den Schwingstäben im eingetauchten Zustand mitbewegten Flüssigkeitsmasse möglichst groß ist im Vergleich zu dem Massenträgheitsmoment der Schwingstäbe weist die Vorrichtung eine sehr hohe Empfindlichkeit auf. D.h. ein durch das Eintauchen in die Flüssigkeit bedingter Meßeffect ist sehr groß. Bei den hier beschriebenen Massenträgheitsmomenten liegt eine Bezugsachse für das Massenträgheitsmoment jeweils in der Ebene der Membran und verläuft senkrecht zur Flächennormale auf die Paddel.

Untersuchungen haben gezeigt, daß es für die meisten Anwendungen ausreicht, wenn das Massenträgheitsmoment der mitbewegten Flüssigkeitsmasse mindestens gleich dem 0,2 fachen des Massenträgheitsmomentes der Schwingstäbe ist. Damit ist gewährleistet, daß die Vorrichtung auch unter sehr schwierigen Bedingungen, z.B. in Medien mit einer geringen Dichte, fehlerfrei arbeitet. Für die Größe der mitbewegten Flüssigkeitsmenge ist eine in Bewegungsrichtung der Schwingstäbe projizierte Fläche entscheidend. Je größer die projizierte Fläche ist, umso größer ist auch die mitbewegte Flüssigkeitsmenge.

Ein Maß für die Empfindlichkeit der Vorrichtung ist eine Änderung der Resonanzfrequenz. Nachfolgend ist mit der Empfindlichkeit δ die Differenz der Resonanzfrequenz ω_r , mit der das Schwingungsgebilde schwingt, wenn es in die Flüssigkeit eingetaucht ist und die Resonanzfrequenz ω_0 , mit der das

Schwingungsgebilde außerhalb der Flüssigkeit frei schwingt, bezogen auf die Resonanzfrequenz ω_0 , mit der das Schwingungsgebilde außerhalb der Flüssigkeit schwingt, gemeint.

Untersuchungen haben gezeigt, daß die Empfindlichkeit δ eine Funktion des Verhältnisses V der Massenträgheitsmoments der mit den Schwingstäben im eingetauchten Zustand mitbewegten Flüssigkeitsmasse und des Massenträgheitsmoments der Schwingstäbe ist. Es gilt:

$$\delta = 1 - (1 / (1 + V))^{1/2} \quad (1)$$

Bei einem Verhältnis V von 0,2 beträgt die Empfindlichkeit δ bereits 16 %. Die in Gleichung (1) angegebene Berechnungsvorschrift ist in Fig. 1 graphisch dargestellt.

Die Erfindung und weitere Vorteile werden nun anhand der Figuren der Zeichnung, in denen ein Ausführungsbeispiel dargestellt ist, näher erläutert; gleiche Elemente sind in den Figuren mit gleichen Bezugszeichen versehen.

Fig. 1 zeigt eine Empfindlichkeit einer Vorrichtung in Abhängigkeit vom Verhältnis V des Massenträgheitsmoments der mitbewegten Flüssigkeitsmenge zu dem Massenträgheitsmoment der Schwingstäbe;

Fig. 2 zeigt einen Längsschnitt durch eine Vorrichtung zur Feststellung und/oder Überwachung eines vorbestimmten Füllstands;

Fig. 3 zeigt eine Seitenansicht eines Schwingstabs;

Fig. 4 zeigt eine Abhängigkeit der Empfindlichkeit der Vorrichtung von der Paddelbreite;

Fig. 5 zeigt eine Abhängigkeit der Empfindlichkeit der Vorrichtung von der Paddellänge;

Fig. 6 zeigt eine Abhängigkeit der Empfindlichkeit der Vorrichtung von der Paddeldicke.

Fig. 7 zeigt ein Beispiel für eine Form der Schwingstäbe; und

Fig. 8 zeigt ein weiteres Beispiel für eine Form der Schwingstäbe.

Fig. 2 zeigt einen Längsschnitt durch eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Feststellung und/oder Überwachung eines vorbestimmten Füllstandes in einem Behälter. Sie weist ein auf der Höhe des vorbestimmten Füllstandes anzubringendes mechanisches Schwingungsgebilde auf.

Das Schwingungsgebilde umfaßt ein im wesentlichen zylindrisches Gehäuse 1, das von einer kreisförmigen Membran 3 frontbündig abgeschlossen ist. An das Gehäuse 1 ist ein Gewinde 5 angeformt, mittels dessen die Vorrichtung in eine auf der Höhe des vorbestimmten Füllstands angeordnete Öffnung 6 in den Behälter eingeschraubt ist. Andere dem Fachmann bekannte Befestigungsweisen, z.B. mittels an dem Gehäuse 1 angeformter Flansche, sind ebenfalls einsetzbar.

An der Außenseite des Gehäuses 1 sind an der Membran 3 zwei in den Behälter weisende Schwingstäbe 7 angeformt, die ebenfalls Bestandteil des Schwingungsgebildes sind. Fig. 3 zeigt eine Ansicht der Schwingstäbe 7. Die Schwingstäbe 7 werden durch einen im Inneren des Gehäuses 1 auf der Membran 3 angeordneten elektromechanischen Wandler 9 in Schwingungen senkrecht zu deren Längsachse versetzt. Als elektromechanischer Wandler 9 dient in dem dargestellten Ausführungsbeispiel ein scheibenförmiges piezoelektrisches Element, das auf die Membran 3 aufgebracht und fest mit dieser verbunden ist. Das piezoelektrische Element ist z.B. auf die Membran 3 aufgeklebt oder aufgelötet und dient dazu die Membran 3 im Betrieb in Biegeschwingungen zu versetzen. Durch diese Membranbewegung werden die Schwingstäbe 7 in Schwingungen senkrecht zu deren Längsachse versetzt.

Das Schwingungsgebilde wird im Betrieb mittels einer elektronischen Schaltung 11 zu Schwingungen angeregt und es ist eine Empfangs- und Auswerteeinheit 13 vorgesehen, die dazu dient anhand der Schwingung festzustellen und/oder zu überwachen, ob der vorbestimmte Füllstand erreicht ist oder nicht. Dies geschieht beispielsweise, indem auf einer membran-abgewandten Seite des piezoelektrischen Elements 9 eine Sendelektrode 15 und eine Empfangselektrode 17 angeordnet sind.

Über die elektronische Schaltung 11 liegt an der Sendeelektrode 15 ein elektrisches Sendesignal an, das das mechanische Schwingungsgebilde zu Schwingungen anregt. Die Schwingungen werden mittels der Empfangselektrode 17 aufgenommen und in ein elektrisches Empfangssignal umwandelt. Die Empfangs- und Auswerteeinheit 13 nimmt das Empfangssignal auf vergleicht dessen Frequenz mit einer Referenzfrequenz. Sie erzeugt ein Ausgangssignal das angibt, daß das mechanische Schwingungsgebilde von einem Füllgut bedeckt ist, wenn die Frequenz einen Wert aufweist der kleiner als die Referenzfrequenz ist, und daß es nicht bedeckt ist, wenn der Wert größer ist. In der elektronischen Schaltung 11 ist ein Regelkreis vorgesehen, der eine zwischen dem elektrischen Sendesignal und dem elektrischen Empfangssignal bestehende Phasendifferenz auf einen bestimmten konstanten Wert regelt, bei dem das Schwingungsgebilde Schwingungen mit einer Resonanzfrequenz ausführt.

Der Regelkreis wird z. B. dadurch gebildet, daß das Empfangssignal verstärkt und über einen Phasenschieber auf das Sendesignal zurück gekoppelt wird.

Erfindungsgemäß weisen die Schwingstäbe eine Form auf, bei der ein ein Massenträgheitsmoment einer Flüssigkeitsmenge, die die Schwingstäbe im in die Flüssigkeit eingetauchten Zustand mitbewegen möglichst groß und größer als ein 0,2 faches eines Massenträgheitsmomentes der Schwingstäbe ist.

Mit dem Massenträgheitsmoment ist immer das Massenträgheitsmoment der Schwingstäbe 7 bzw. der mitbewegten Flüssigkeitsmasse bezogen auf die in der Ebene der Membran 3 senkrecht zur Flächennormale auf die Paddel 8 verlaufende Achse gemeint.

Bei einer solchen Auslegung der Schwingstäbe ist eine hohe Empfindlichkeit δ der Vorrichtung gewährleistet. Eine hohe Empfindlichkeit δ ist grundlegend für eine optimale Anpassung der Vorrichtung an eine Vielzahl von Anwendungen. Aufgrund der hohen Empfindlichkeit δ kann die Vorrichtung problemlos auch in ansonsten sehr schwierigen Anwendungen, z.B. in Flüssigkeiten mit sehr geringer Dichte eingesetzt werden.

Eine Vergrößerung des Verhältnisses V , das wie bereits eingangs dargelegt die zentrale Größe darstellt, kann auf vielfältige Weise erfolgen. Eine großes Verhältnis V liegt vor, wenn die Schwingstäbe 7 eine Form aufweisen, bei der eine

Dicke der mit den Schwingstäben 7 mitbewegten Flüssigkeitsschicht möglichst groß ist. Hierfür ist eine in Bewegungsrichtung der Schwingstäbe 7 projizierte Fläche derselben entscheidend. Je größer die durch die Flüssigkeit bewegte Fläche in der Projektion ist, umso größer ist auch die mitbewegte Flüssigkeitsmenge.

Da flächige Elemente besser geeignet sind, große Mengen an Flüssigkeit mit zu bewegen, weisen die Schwingstäbe 7, wie in Fig. 3 dargestellt vorzugsweise endseitig an deren membran-abgewandten Seite flächige parallel zueinander angeordnete Paddel 8 auf, die so ausgerichtet sind, daß deren Flächennormale senkrecht zur Längsachse der Schwingstäbe 7 verläuft.

Untersuchungen haben gezeigt, daß sich das für die Empfindlichkeit der Vorrichtung so wichtige Verhältnis des Massenträgheitsmoments der mitbewegten Flüssigkeit bezogen auf das Massenträgheitsmoment der Schwingstäbe deutlich vergrößern läßt, indem die Breite der Schwingstäbe 7, bzw. in dem dargestellten Ausführungsbeispiel die Breite b der Paddel 8 vergrößert wird. Fig. 4 zeigt schematisch die Empfindlichkeit δ in Abhängigkeit von der Breite b der Paddel 8. Eine Verlängerung der Schwingstäbe 7 und/oder der Paddel 8 führt dagegen nicht zu einer merklichen Vergrößerung des Verhältnisses V der beiden Massenträgheitsmomente. Bei einer Verlängerung der Schwingstäbe 7 steigen das Massenträgheitsmoment der mitbewegten Flüssigkeit und das Massenträgheitsmoment der Schwingstäbe 7 ungefähr gleich stark an. Es ist daher die Breite b der Paddel 8 zu maximieren, um eine hohe Empfindlichkeit der Vorrichtung zu erzielen.

Die Schwingstäbe 7 ragen im Betrieb durch die Öffnung 6 in den Behälter hinein. Die Öffnung 6 weist einen Durchmesser von wenigen Zentimetern auf. Die Membran 3 weist einen Durchmesser auf, der geringfügig kleiner als der Durchmesser der Öffnung 6 ist. Entsprechend weisen die Paddel 8 vorzugsweise eine maximale Breite b auf, bei der ein Außendurchmesser der Vorrichtung im Bereich der Schwingstäbe 7 geringfügig kleiner als der Durchmesser der Öffnung 6 im Behälter ist.

Obwohl bei einer Vergrößerung der Breite b als auch bei einer Vergrößerung der Länge l der Paddel das Massenträgheitsmoment der Schwingstäbe 7 ansteigt, ist

nur durch die Vergrößerung der Breite b eine deutliche Steigerung der Empfindlichkeit δ der Vorrichtung erzielbar.

In begrenztem Umfang ist auch durch eine Verkleinerung der Dicke d der Paddel 8 eine Vergrößerung des Verhältnisses V erzielbar. Dünnere Paddel 8 haben bei gleicher gegen die Flüssigkeit bewegter projizierter Fläche eine geringere Masse und somit ein geringeres Massenträgheitsmoment als ansonsten identische Schwingstäbe 7 mit dickeren Paddeln 8. Da die durch die Flüssigkeit bewegte projizierte Fläche gleich bleibt, bleibt auch die mitbewegte Flüssigkeitsmenge und damit auch deren Massenträgheitsmoment gleich. Entsprechend vergrößert sich das Verhältnis V der Massenträgheitsmomente. Fig. 6 zeigt die Abhängigkeit der Empfindlichkeit der Vorrichtung von der Paddeldicke d .

Der Verkleinerung der Dicke d der Paddel 8 sind natürlich Grenzen gesetzt, die sich daraus ergeben, daß die Schwingstäbe 7 bzw. die Paddel 8 durch eine Anwendung gegebene mechanische Belastungen nicht verformt, verbogen oder sogar abgebrochen werden dürfen. Bei metallischen Schwingstäben 7 sollte auch Gründen der mechanischen Stabilität ein Grenzwert von einem Millimeter Dicke nicht unterschritten werden.

Das Massenträgheitsmoment der Schwingstäbe 7 kann je nach Form der Schwingstäbe entweder unmittelbar, mittels Näherungsrechnungen oder durch Simulationsrechnungen, z.B. mittels der Finiten-Elemente-Methode, bestimmt werden. Das Massenträgheitsmoment der mitbewegten Flüssigkeitsmasse kann indirekt aus Gleichung (1) bestimmt werden. Hierzu muß in einem ersten Schritt experimentell oder numerisch die Empfindlichkeit δ der Vorrichtung berechnet werden und das Massenträgheitsmoment der Schwingstäbe 7 zur Verfügung stehen. Für die numerische Berechnung der Empfindlichkeit δ stehen heute Simulationsprogramme, wie z.B. das Softwarepaket ANSYS der Firma ANSYS, Inc. aus Canonsburg, PA 15317 in den USA zur Verfügung, mit dem ein Eintauchen der Schwingstäbe 7 in eine Flüssigkeit simuliert werden kann, und aus den Simulationen die Schwingungsfrequenzen bestimmt werden können.

Da eine Länge L der Schwingstäbe 7 keinen wesentlichen Einfluß auf das Verhältnis V der Massenträgheitsmomente hat, sich aber sehr wohl auf das Massenträgheitsmoment der Schwingstäbe 7 auswirkt, kann die Länge L der Schwingstäbe 7 zur Einstellung einer gewünschten Resonanzfrequenz verwendet

werden. Vorzugsweise ist die Länge L der Schwingstäbe 7 einschließlich der Paddel 8 so gewählt, daß die Resonanzfrequenz des Schwingungsgebildes bei maximaler Breite b der Paddel 8 kleiner als 1400 Hz ist. Hierdurch ist sichergestellt, daß die Vorrichtung auch in ausgasenden Medien, z.B. in mit Kohlensäure versetztem Wasser, noch zuverlässig arbeitet.

Vorzugsweise weisen die Paddel 8 eine Länge l auf, die 50 % +/- 10 % der Länge L der Schwingstäbe ausmacht. Eine weitere Vergrößerung der Länge l der Paddel 8 bezogen auf die Länge L der Schwingstäbe 7 bringt nur eine sehr geringe Vergrößerung der Empfindlichkeit δ , von weniger als 5 %, sie bedeutet also einen zusätzlichen Materialaufwand, der sich praktisch für die meisten Anwendungen nicht auszahlt.

Die Membran 3 besteht aus einem Metall und weist eine Dicke von 0,6 bis 1 mm auf. Bei einer solchen Dicke ist bei einer metallischen Membran 3 eine ausreichende Sicherheit gegeben, damit die Membran 3 auch starken Belastungen, z.B. durch hohe Drücken oder mechanische Beanspruchung standhält.

Nachfolgend sind zwei Optimierungsbeispiele für Schwingstäbe 7 mit Paddeln 8 angegeben.

Bei einem Behälter, bei dem die Öffnung einen Durchmesser von ca. 24 mm ($\frac{1}{2}$ Zoll) aufweist, und die Membran 3 derart in die Öffnung eingebracht ist, daß sie diese abschließt, weisen die Schwingstäbe 7 vorzugsweise ein Massenträgheitsmoment auf, daß kleiner gleich 18 kgmm^2 und größer gleich $1,1 \text{ kgmm}^2$ ist. Die Paddel 8 weisen dabei vorzugsweise eine Dicke zwischen 1 mm und 4,1 mm auf, und die Schwingstäbe 7 haben eine Länge zwischen 37 mm und 60 mm.

Bei einem Behälter, bei dem die Öffnung einen Durchmesser von ca. 12 mm ($\frac{1}{4}$ Zoll) aufweist, und die Membran 3 derart in die Öffnung eingebracht ist und sie die Öffnung abschließt, weisen die Schwingstäbe 7 vorzugsweise ein Massenträgheitsmoment auf, das kleiner gleich $1,6 \text{ kgmm}^2$ und größer gleich $0,4 \text{ kgmm}^2$ ist. Die Paddel 8 weisen eine Dicke zwischen 1 mm und 2 mm auf, und die Schwingstäbe 7 weisen eine Länge zwischen 30 mm und 40 mm auf.

Um eine optimale Auslegung für eine Anwendung zu erzielen wird die Vorrichtung, wie nachfolgend aufgeführt hergestellt: Es wird zunächst aus einem vorgegeben Durchmesser der Öffnung 6 im Behälter der maximale Durchmesser der Membran 3 bestimmt wird. In Abhängigkeit von dem Durchmesser der Membran 3 wird ein Abstand der Schwingstäbe 7 zueinander und deren Dicke festgelegt. Nachfolgend wird zur Erzielung einer hohen Empfindlichkeit δ der Vorrichtung die maximal mögliche Breite b der Paddel 8 bestimmt. Diese ist dadurch gegeben, daß die Paddel 8 noch durch die Öffnung in den Behälter einführbar sind. Anschließend wird eine Mindestlänge L der Schwingstäbe 7 ermittelt, ab der eine Resonanzfrequenz des Schwingungsgebildes weniger als 1400 Hz beträgt. Anschließend wird das Schwingungsgebilde unter Beachtung der vorgenannten Bemessungsangaben gefertigt.

Eine Formgebung der Paddel 8 und deren Auswirkungen auf die Empfindlichkeit kann numerisch ermittelt werden. Dies ist nachfolgend anhand von zwei speziellen Formen näher erläutert. Eine erste Form A ist in Fig. 7 dargestellt. Es handelt sich hier um den einfachsten Fall eines Schwingstabes 7 mit einem im Querschnitt rechteckigen Stab der Breite b_s und dem an dessen membran-abgewandten Ende angeformten Paddel 8. Das Paddel 8 ist im Querschnitt ebenfalls rechteckig und weist die Breite b und die Länge l auf. Die Länge l des Paddels 8 beträgt das 0,5 fache der Gesamtlänge L des Schwingstabes 7.

Fig. 8 zeigt eine alternative Form B für einen Schwingstab 7. Der hier dargestellte Schwingstab 7 weist ebenfalls einen im Querschnitt rechteckigen Stab der Breite b_s auf, an dessen membran-abgewandten Ende das Paddel 8 angeformt ist. Das Paddel 8 ist im Querschnitt ein Rechteck mit einer in membran-abgewandter Richtung weisenden Spitze 17. Die Spitze 17 läuft unter einem Winkel α von 45° zur Schwingstablängsachse zu und endet in einem stumpfen Abschluß der Breite sp . Das Paddel 8 selbst weist wieder die Breite b und die Länge l auf. Die Länge l des Paddels 8 beträgt das 0,5 fache der Gesamtlänge L des Schwingstabes 7.

In dem zuvor erwähnten Programm Ansys sind zur Simulation einer Schwingung der Schwingstäbe 7 in einer Flüssigkeit vorgefertigte Flüssigkeitselemente vorgesehen. Es kann daher mittels dieses Programms eine Schwingung des Schwingstabs 7 im freien und in einer Flüssigkeit nachempfunden werden. Hieraus läßt sich die jeweilige Resonanzfrequenz und damit wie eingangs angegeben, die Empfindlichkeit δ der Vorrichtung bestimmen.

Geht man bei der Form A beispielsweise von einer Breite b_s des Stabes von 3 mm, so ergibt sich

Form A

$$\delta(d) = \left[1 - \sqrt{1 + \frac{\frac{1}{(0,0121 \cdot b^2 + 0,026 \cdot b) \cdot \left(\frac{1}{40}\right)^3 \cdot \left(\frac{pfl}{10^{-6}}\right)}{\frac{1}{24} \cdot d \cdot pp \cdot (3 + 7 \cdot b)}}} \right] \cdot 100$$

wobei pfl die Dichte der Flüssigkeit und pp die Dichte des Schwingstabs δ bezeichnet und die Dichten in kg/mm^3 und die Längen in mm anzusetzen sind.

Für die Form B ergibt sich bei einer Breite b_s des Stabes von 3 mm, einer Breite s_p des Abschlusses von 1 mm eine Empfindlichkeit von:

Form B

$$\delta(d) = \left[1 - \sqrt{1 + \frac{\frac{1}{(0,01 \cdot b^2 + 0,043 \cdot b) \cdot \left[\left(\frac{lg}{40}\right)^{3,33} \cdot \left(\frac{pfl}{pH_2O}\right)\right]}}{\frac{1}{24} \cdot d \cdot lg^3 pp \cdot (3 + 7 \cdot b \cdot p) - \frac{1}{192} \cdot (b-1)^4 \cdot d \cdot pp \cdot \left[1 + \frac{lg - \frac{1}{6} \cdot (b-1)^2}{(b-1)^2}\right]}}} \right] \cdot 100$$

Selbstverständlich können auch komplizierte Formen numerisch ausgewertet werden und auch die Abhängigkeit der Empfindlichkeit δ von anderen Parametern ausgerechnet werden. Daraus ergibt sich für jede beliebige Form eine Bewertung

der Verhältnisgröße V . Je größer die projizierte Fläche der speziellen Paddelform bei möglichst geringem Massenträgheitsmoment des Schwingstabes 7 ist, umso größer ist die Empfindlichkeit δ der Vorrichtung.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Feststellung und/oder Überwachung eines vorbestimmten Füllstandes in einem Behälter, welche Vorrichtung umfaßt:
 - ein auf der Höhe des vorbestimmten Füllstandes angebrachtes mechanisches Schwingungsgebilde,
 - das eine Membran (3) und zwei daran von einander beabstandet angeformte Schwingstäbe (7) aufweist,
 - einen elektromechanischen Wandler,
 - der das Schwingungsgebilde im Betrieb derart zu Schwingungen anregt, daß die Schwingstäbe (7) Schwingungen senkrecht zu deren Längsachse ausführen,
 - eine Empfangs- und Auswerteeinheit (13), die dazu dient anhand der Schwingungen festzustellen und/oder zu überwachen, ob der vorbestimmte Füllstand erreicht ist oder nicht,
 - bei dem die Schwingstäbe (7) eine Form ausweisen, bei der ein Massenträgheitsmoment einer Flüssigkeitsmenge, die die Schwingstäbe (7) im in die Flüssigkeit eingetauchten Zustand mitbewegen möglichst groß und größer als ein 0,2 faches eines Massenträgheitsmomentes der Schwingstäbe (7) ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der die Schwingstäbe (7) endseitig an deren membran-abgewandten Seite flächige parallel zueinander angeordnete Paddel (8) aufweisen, wobei eine Flächennormale auf die Paddel (8) senkrecht zur Längsachse der Schwingstäbe (7) verläuft.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, bei der
 - die Schwingstäbe (7) im Betrieb durch eine Öffnung in den Behälter hinein ragen,
 - die Öffnung einen Durchmesser von weniger als fünf Zentimetern aufweist,
 - die Membran (3) einen Durchmesser aufweist, der geringfügig kleiner als der Durchmesser der Öffnung

ist,

- die Paddel (8) eine maximale Breite aufweisen, bei der ein Außendurchmesser der Vorrichtung im Bereich der Schwingstäbe kleiner gleich dem Durchmesser der Öffnung ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, bei der eine Länge L der Schwingstäbe (7) einschließlich der Paddel (8) so gewählt ist, daß eine Resonanzfrequenz des Schwingungsgebildes bei maximaler Breite (b) der Paddel (8) kleiner als 1400 Hz ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 3, bei der die Paddel (8) eine Länge (l) aufweisen, die 50 % +/- 10 % der Länge (L) der Schwingstäbe (7) ausmacht.

6. Vorrichtung nach Anspruch 2, bei der die Paddel (8) eine geringe Dicke (d) aufweisen.

7. Vorrichtung nach Anspruch 2, bei der die Membran (3) aus einem Metall besteht und eine Dicke von 0,6 bis 1 mm aufweist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 2 bei der
- Öffnung einen Durchmesser von ca. 24 mm ($\frac{1}{2}$ Zoll) aufweist,
 - die Membran (3) in die Öffnung eingebracht ist und diese abschließt,
 - jeder Schwingstab (7) ein Massenträgheitsmoment aufweist, das kleiner gleich 18 kgmm^2 und größer gleich $1,1 \text{ kgmm}^2$ ist,
 - die Paddel (8) eine Dicke (d) zwischen 1 mm und 4,1 mm aufweisen, und
 - die Schwingstäbe (7) eine Länge (L) zwischen 37 mm und 60 mm aufweisen.

9. Vorrichtung nach Anspruch 2 bei dem
- Öffnung einen Durchmesser von ca. 12 mm ($\frac{1}{4}$ Zoll)

aufweist,

- die Membran (3) in die Öffnung (6) eingebracht ist und diese abschließt,
- jeder Schwingstab (7) ein Massenträgheitsmoment aufweist, das kleiner gleich $1,6 \text{ kgmm}^2$ und größer gleich $0,4 \text{ kgmm}^2$ ist,
- die Paddel (8) eine Dicke (d) zwischen 1 mm und 2 mm aufweisen, und
- die Schwingstäbe (7) eine Länge (L) zwischen 30 mm und 40 mm aufweisen.

10 . Verfahren zur Herstellung einer Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei der

- aus einem vorgegebenen Durchmesser der Öffnung (6) im Behälter der maximale Durchmesser der Membran (3) bestimmt wird,
- ein Abstand der Paddel (8) zueinander und deren Dicke (d) in Abhängigkeit vom Durchmesser der Membran (3) festgelegt wird,
- nachfolgend zur Erzielung einer hohen Empfindlichkeit (δ) der Vorrichtung die maximal mögliche Breite (b) der Paddel (8) bestimmt wird,
- eine Mindestlänge der Schwingstäbe (7) ermittelt wird, ab der eine Resonanzfrequenz des Schwingungsgebildes weniger als 1400 Hz beträgt, und
- das Schwingungsgebilde unter Beachtung der vorgenannten Bemessungsangaben gefertigt wird.

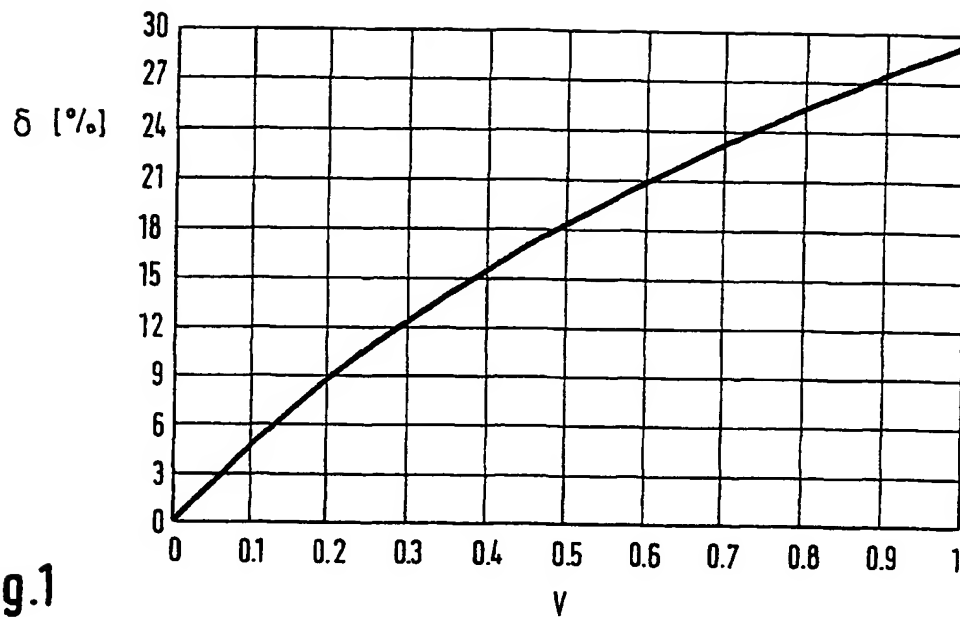


Fig.1

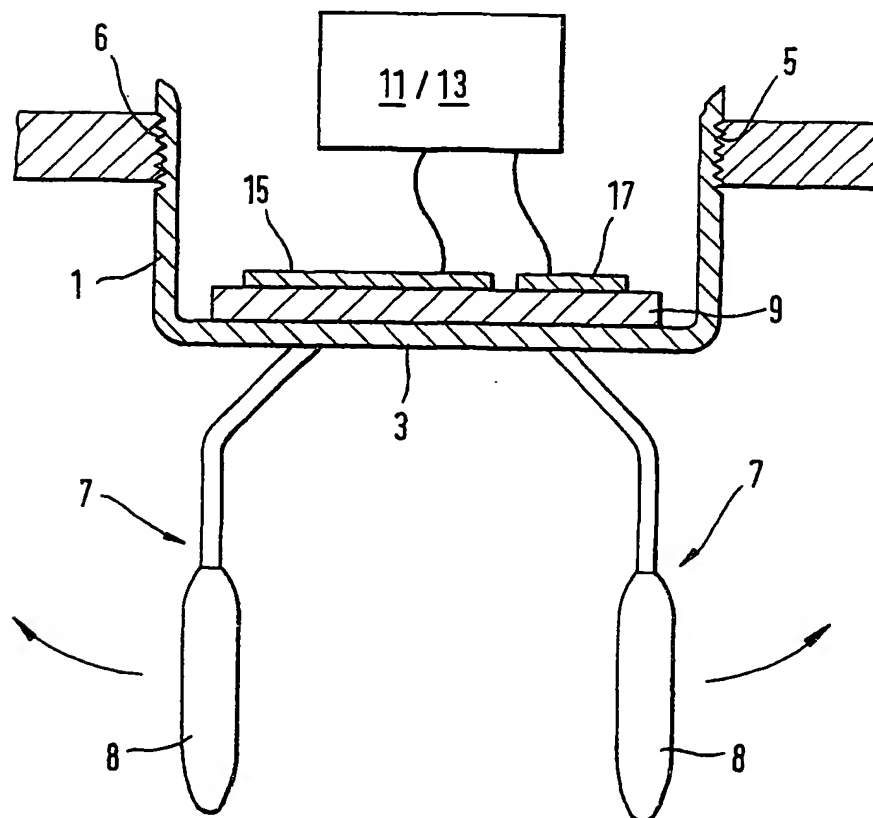


Fig.2

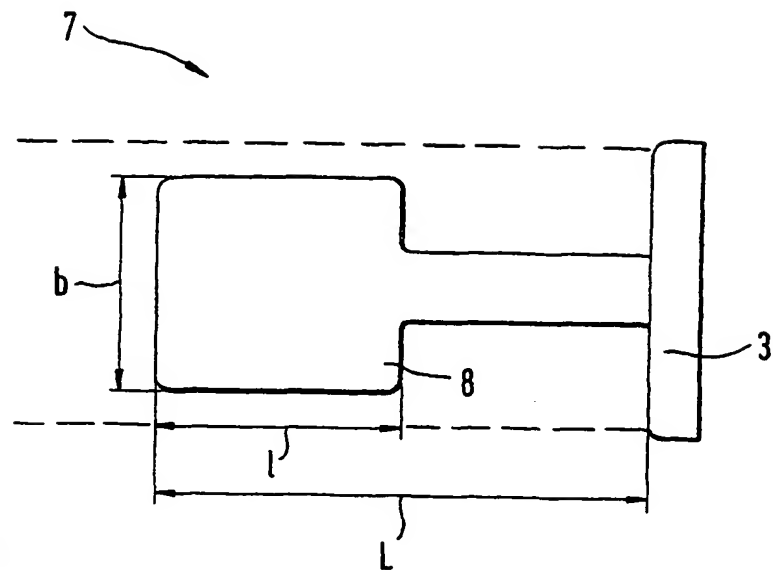


Fig.3

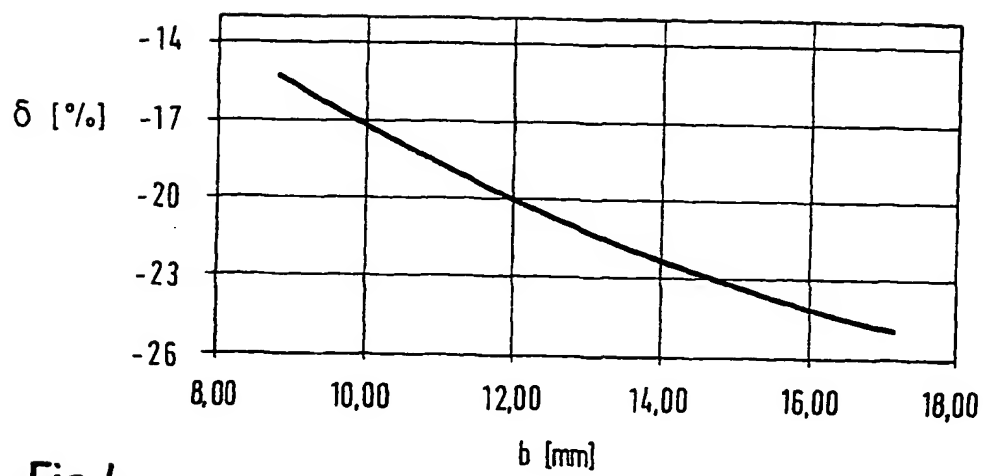


Fig.4

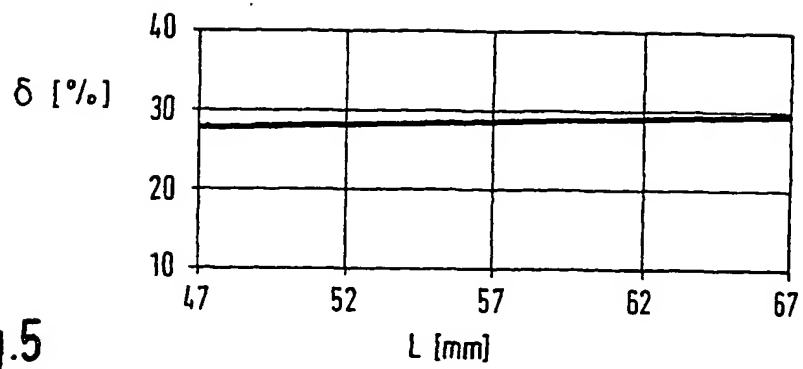


Fig.5

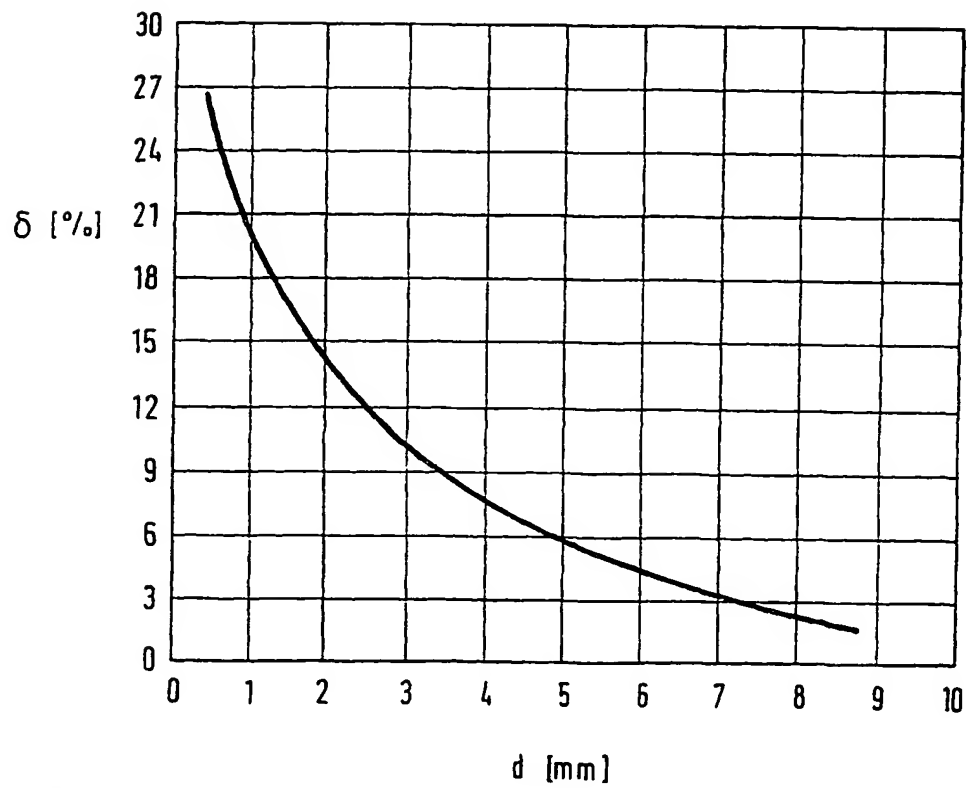
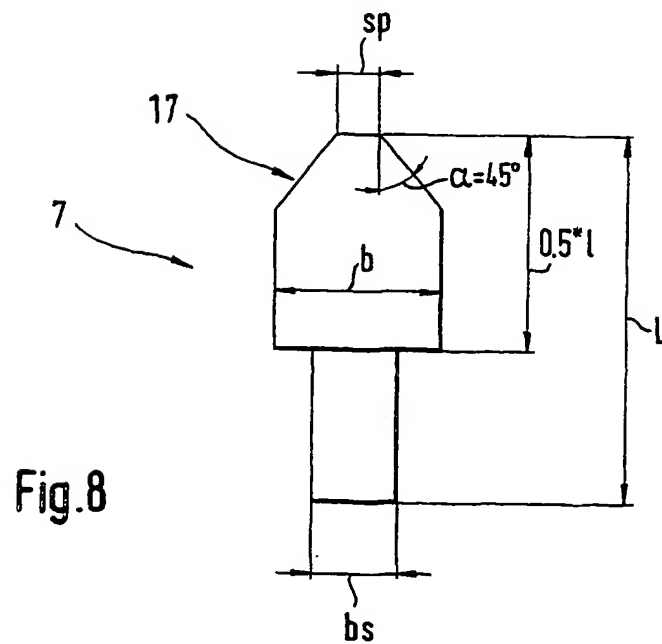
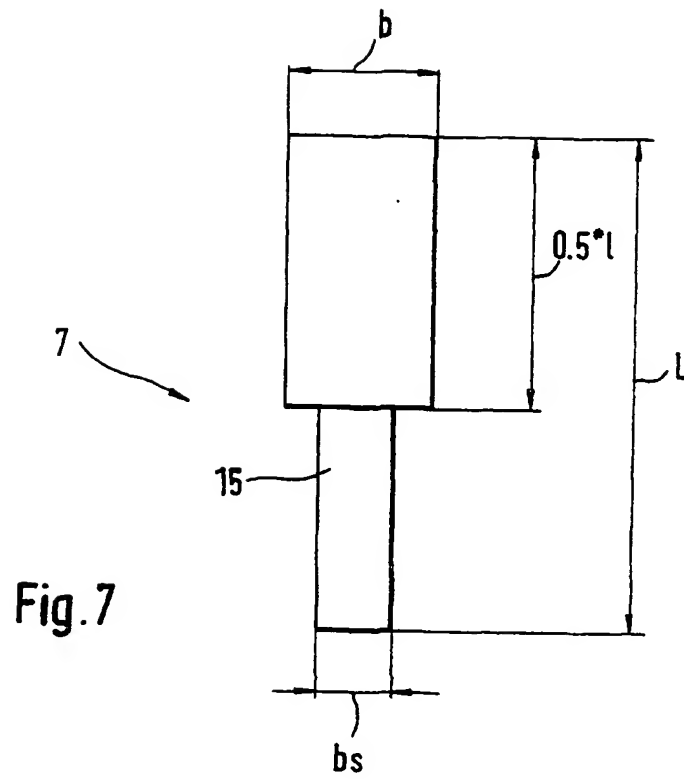


Fig.6



PCT/EP 02/03443

IPC 7 G01F23/296

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G01F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4 594 584 A (PFEIFFER HELMUT ET AL) 10 June 1986 (1986-06-10) column 7, line 52 -column 8, line 13; figures 1,8,9 ---	1,9
A	US 5 408 168 A (PFAENDLER MARTIN) 18 April 1995 (1995-04-18) column 6, line 40 -column 7, line 2; figure 1 ---	1,9
A	US 5 596 139 A (MIURA SHINSUKE ET AL) 21 January 1997 (1997-01-21) column 2, line 57 -column 3, line 18; figure 1 --- --/--	1,9

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *I* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *Z* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

30 July 2002

Date of mailing of the international search report

06/08/2002

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Heinsius, R

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 02/03443

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>DE 44 19 617 A (ENDRESS HAUSER GMBH CO) 7 December 1995 (1995-12-07) cited in the application column 2, line 60 -column 7, line 32; figures 1-3</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1,9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 02/03443

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4594584	A	10-06-1986	DE 3336991 A1	02-05-1985
			CH 665904 A5	15-06-1988
			DE 3348119 C2	28-12-1989
			FR 2553189 A1	12-04-1985
			GB 2150292 A , B	26-06-1985
			IT 1178538 B	09-09-1987
			JP 1631698 C	26-12-1991
			JP 2060245 B	14-12-1990
			JP 60098315 A	01-06-1985
			NL 8403090 A	01-05-1985
US 5408168	A	18-04-1995	DE 4118793 A1	10-12-1992
			CA 2087343 C	25-02-1997
			WO 9221945 A1	10-12-1992
			DE 59207173 D1	24-10-1996
			EP 0543006 A1	26-05-1993
			ES 2093281 T3	16-12-1996
			JP 7065919 B	19-07-1995
			JP 6500180 T	06-01-1994
US 5596139	A	21-01-1997	JP 2768893 B2	25-06-1998
			JP 7072063 A	17-03-1995
			DE 4431631 A1	09-03-1995
			GB 2281621 A , B	08-03-1995
DE 4419617	A	07-12-1995	DE 4419617 A1	07-12-1995
			CA 2150855 A1	04-12-1995
			DE 59505355 D1	22-04-1999
			EP 0686834 A1	13-12-1995
			ES 2128609 T3	16-05-1999
			JP 2716678 B2	18-02-1998
			JP 7333038 A	22-12-1995
			US 5631633 A	20-05-1997

PCT/EP 02/03443

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 02/03443

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>DE 44 19 617 A (ENDRESS HAUSER GMBH CO) 7. Dezember 1995 (1995-12-07) in der Anmeldung erwähnt Spalte 2, Zeile 60 -Spalte 7, Zeile 32; Abbildungen 1-3</p> <p>-----</p>	1,9

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 02/03443

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 4594584 A	10-06-1986	DE 3336991 A1	02-05-1985
		CH 665904 A5	15-06-1988
		DE 3348119 C2	28-12-1989
		FR 2553189 A1	12-04-1985
		GB 2150292 A ,B	26-06-1985
		IT 1178538 B	09-09-1987
		JP 1631698 C	26-12-1991
		JP 2060245 B	14-12-1990
		JP 60098315 A	01-06-1985
US 5408168 A	18-04-1995	NL 8403090 A	01-05-1985
		DE 4118793 A1	10-12-1992
		CA 2087343 C	25-02-1997
		WO 9221945 A1	10-12-1992
		DE 59207173 D1	24-10-1996
		EP 0543006 A1	26-05-1993
		ES 2093281 T3	16-12-1996
		JP 7065919 B	19-07-1995
		JP 6500180 T	06-01-1994
US 5596139 A	21-01-1997	JP 2768893 B2	25-06-1998
		JP 7072063 A	17-03-1995
		DE 4431631 A1	09-03-1995
		GB 2281621 A ,B	08-03-1995
DE 4419617 A	07-12-1995	DE 4419617 A1	07-12-1995
		CA 2150855 A1	04-12-1995
		DE 59505355 D1	22-04-1999
		EP 0686834 A1	13-12-1995
		ES 2128609 T3	16-05-1999
		JP 2716678 B2	18-02-1998
		JP 7333038 A	22-12-1995
		US 5631633 A	20-05-1997